

Tartu Ülikool  
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond  
Ökoloogia ja Maateaduste instituut  
Geograafia osakond

Bakalaureusetöö loodusgeograafias

**Metsatüüpide eristamise võimalustest multispektraalsete  
WorldView-2 satelliidipiltide abil**

Iris Laatsarus

Juhendaja: MSc Kaupo Voormansik

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2013

# 1 Sisukord

1	Sisukord.....	2
2	Sissejuhatus.....	3
3	Valdkonna ülevaade.....	4
3.1	Kaugseirest .....	4
3.2	WorldView-2.....	6
4	Lähteandmed .....	9
4.1	WorldView-2 satelliidipildid .....	9
4.2	Metsaregister .....	12
5	Andmetöötuse metoodika .....	13
6	Tulemuste analüüs.....	17
	Kokkuvõte.....	25
	Summary .....	26
	Tänuavaldused .....	28
	Kasutatud kirjandus.....	29
	LISAD.....	31

## 2 Sissejuhatus

Maa kaugseire kui üks alternatiivne võimalus koguda andmeid meid ümbritseva keskkonna kohta, on aasta-aastalt aina rohkem kättesaadav. Satelliitseire kasutamise eeliseks teiste andmete kogumise meetodite ees (aeropildistus, välitööd, jt.) on suurte maa-alade katmise võimalus ning piiramatult kiire ligipääs huvipakkuvale alale. Satelliitseire andmete mahud on viimastel aastatel järsult kasvanud. Andmetöötluse automatiseerimine aitab kokku hoida aega ja ressursse. Kogutud info põhjal saab langetada inimeste elukvaliteeti mõjutavaid otsuseid ning vähendada inimtegevuse negatiivset mõju keskkonnale.

Tänapäevase kaugseire üks rakendusi on metsade seisundi jälgimine. Digitaalseid satelliidi- ja aerofotosid saab kasutada visuaalse tõlgendamise kõrval ka näiteks metsade kaardistamise automaattöötluses või puistute struktuuri ja tervislikku seisundit näitavate parameetrite hindamiseks. Satelliidipiltidelt on võimalik metsi kaardistada erinevas detailsusastmes, metsade tuvastamisest puuliikide eristamiseni. Objektide eristamise üheks mõõdetavaks võimaluseks on nende objektide heleduskordajate leidmine satelliidifotolt. Heleduskordajate uurimine võimaldab minimeerida erinevate valgustingimuste segavat mõju ning keskenduda mõõdetud sensori signaalis objekti kirjeldamisele.

Töö eesmärgiks on uurida metsatüüpide (kaasik, leplik, kuusik, männik) eristamise võimalusi multispektraalsete satelliidipiltide abil. Lähteandmetena kasutatakse WorldView-2 kaheksa spektraalse kanaliga satelliidipiltide Välgis testala kohta Tartu- ja Jõgevamaal ning Metsaregistri avalikke andmeid metsaeraldise liigilise koosseisu kohta. WorldView-2 piltidelt leitakse kaasikute, leplikute, kuusikute ja männikute spektraalsed signatuurid ning otsitakse vastuseid järgmistele küsimustele:

- Millised spektraalsed kanalid (1: 400 - 450 nm, 2: 450 - 510 nm, 3: 510 - 580 nm, 4: 585 - 625 nm, 5: 630 - 690 nm, 6: 705 - 745 nm, 7: 760 - 900 nm, 8: 860 - 1040 nm) kannavad metsatüüpide eristamiseks kõige rohkem infot ja millised on vähem olulised?
- Millised muud metsatüübist sõltumatud tegurid mõjutavad spektraalseid signatuure ja võivad põhjustada interpreteerimisvigu?
- Kuidas muutuvad metsatüüpide spektraalsed signatuurid aastaajast sõltuvalt (võrrelda saab mai lõpus ja juuni lõpus 2011 tehtud ülesvõtteid)?

Eelnevalt teostatakse vajalik andmetöötlus koos satelliidipiltide kalibreerimisega tarkvarapakettidega ENVI 4.8 ja BEAM 4.10 abil.

### 3 Valdkonna ülevaade

#### 3.1 Kaugseirest

Kaugseireks nimetatakse teadust ja meetodit eemal asuvate (enamjaolt Maapealsete) objektide kohta informatsiooni saamiseks objektiga kokku puutumata. Kaugseirega seoses räägitakse peamiselt elektromagnetkiirguse vahendusel andmete kogumisest (Nilson, 1994). Uuritavalt objektilt peegeldunud või objekti poolt kiiratud elektromagnetilist kiirgust registreerib ja salvestab objektist eemal asetsev sensor (CCRS, 2013). Kui sensor püüab looduslikku kiirgust, näiteks objekt peegeldab eraldiseisvalt valgusallikalt (näiteks Päikeselt) lähtuvat kiirgust, või objekt kiirgab ise (näiteks Maalt emiteerunud soojuskiirgus), on tegemist passiivse sensoriga. Kui sensor kiirgab skaneerimiseks ise energiat, on tegemist aktiivse sensoriga. Aktiivne sensor püüab uuritavalt objektilt tagasipeegeldunud või hajunud kiirgust. Tehisavaradar ehk SAR (i. k. *synthetic aperture radar*), mis saadab mikrolaine kiirgusimpulsse ja toodab pilti tagasipeegeldunud signaali järgi, on tüüpiline aktiivne sensorisüsteem (Liu, Mason, 2009). Aktiivne süsteem on ka lidar, mis saadab välja laserkiirguse signaali ning registreerib tagasipeegeldunud kiirgust (CCRS, 2013). Enamlevinud pankromaatilised ja multispektraalsed optilised kaamerad on tüüpilised passiivsed sensorid (Liu, Mason, 2009). On olemas ka passiivsed mikrolaineradiomeetrid ja radarid, mis mõõdavad maapinna poolt kiiravat energiat vastavas mikrolainepiirkonnas ning soojuskiirguse radiomeetrid, mis spektri infrapunases piirkonnas töötades mõõdavad uuritava objekti temperatuuri (Nilson, 1994). Optiliste süsteemide mõõdetavat peegeldunud kiirgusenergiat on võimalik registreerida ainult siis, kui Maale langeb piisavalt päikesevalgust. Öösel Päikeselt pärinevat peegeldunud kiirgust ei ole. Soojuskiirgust saab registreerida nii öösel kui ka päeval. Nii on aktiivsete sensorite eeliseks võime koguda infot sõltumata kella- või aastaajast. Aktiivsete sensoritega võib mõõtmisi teha ka öösel või pilvise taevaga (sobiva sagedusega atmosfääri läbistavate elektromagnetlainete korral) (CCRS, 2013).

Tänapäevase kaugseire eelkäijaks võib pidada aerofotograafiat. 19. sajandi keskpaigas hakatati fotosid kasutama topograafias. Enne lennukite saabumist kasutati pildistamiseks kuumaõhupalle (19. sajandi lõpp) või kandsid kaameraid linnud: harksabad ja tuvid (20. sajandi algus). Esimesed registreeritud aerofotod tehti 1909. aastal Itaalias. Erinevate kaugseiremeetodite arengule on hoogu andnud militaarhuvid. Sõjalised luurelennud Teises maailmasõjas arendasid oluliselt edasi aerofotograafia tehnoloogiat. Koos värvifotograafia saabumisega algas lähiinfrapunasele kiirgusele tundlike filmide areng. 1960.ndatel viidi NASA tellimusel läbi arvukalt infrapunase ja multispektraalse värvifotograafia rakendusuringuid,

mis päädisid multispektraalsete pildistussüsteemide orbiidile saatmisega Landsati satelliitidel 1970.ndatel (Elachi, van Zyl, 2006).

Enne tänapäevase kosmilise kaugseiretehnika kasutuselevõttu sondeerisid Maad sõjaväelised luuresatelliidid ning loodusressursside uurimine oli kõrvaltegevus. Sõjalise luure tarvis ette nähtud tehnika polnud eriti sobiv loodusvarade või keskkonnaseisundi uurimisega seotud ülesannete lahendamiseks (Nilson, 1994).

Esimene tsiviilotstarbeline Maad pildistav satelliit oli eelpool mainitud 1972. aastal orbiidile saadetud Landsat-1, toonase nimega ERTS-1. Tänapäeval on Landsat-seeria satelliitide kõrval olemas mitmed Euroopa, Ameerika Ühendriikide, Kanada, Jaapani, Hiina, Brasiilia, India, Austraalia ja teiste maade kaugseiresatelliidid ja satelliitide seeriad. Tuntumad neist on Envisat, SPOT, RADARSAT, ALOS, CBERS, IRS, Terra ja Aqua, NOAA – GOES ja METEOSAT ilmasatelliidid. Väga kõrge ruumilise lahutusega pilte toodavad kommertskasutuses olevad satelliidid IKONOS, GeoEye-1, QuickBird, WorldView-1 ja WorldView-2.

Geostatsionaarsete satelliitidega jälgitakse pidevalt Maad ja saadakse informatsiooni ilmaennustusteks. Kõrglahutusega satelliidipilte kasutatakse topograafiliseks kaardistamiseks, sealjuures eriti tõhusalt ohtlike või raskesti ligipääsetavate piirkondade kaardistamiseks. Lisaks sellele tuleb satelliitseire kasulikkus välja muudatuste tuvastamisel teatud perioodi jooksul ning aegridade koostamisel huvi pakkuvatest suurtest maa-aladest.

Eelpool nimetatud põhjustel saab satelliitseiret väga hästi kasutada valdkondades, kus tehakse keskkonnaseire informatsiooni põhjal äriotsuseid. Sellisteks valdkondadeks on näiteks põllumajandus, metsandus, keskkonnamuutuste jälgimine (jääseire ja merereostus), keskkonna järelevalve või maavarade kaevandamine.

Põllumajanduse valdkonnas pakub satelliitseire üha rohkem sisendit täppispõllunduseks. On võimalik tuvastada majandamisvõtetest või keskkonnamõjudest tingitud positiivseid ja negatiivseid muutusi põldudel ning kaasata tulemused analüüsiprotsessi. Seejärel on võimalik korrigeerida põldudel teostatavaid töid ning planeerida reageerimist kriitilistes olukordades.

Metsanduses on põhilisteks kasutusalaadeks metsaga kaetud maa tuvastamine, raiete ning metsastumise protsessi jälgimine ning metsatagavara arvutamine. Satelliitseire on oluline ka loodusõnnetuste, nt metsatulekahjud, tormimurrud ning üleujutused, tuvastamisel ning kaardistamisel. Käesoleva uurimistöö probleemipüstitus, tuvastada satelliidipildilt puuliigiti

metsaala, on samuti selle valdkonna huviorbiidis. Oskus puuliike tuvastada oleks sisendiks metsamajandamise jaoks ning aitaks näiteks tüvemassi paremini hinnata.

Kaugseire meetodite kasutamine kasvab kogu maailmas ning sellele mõjub positiivselt asjaolu, et nii Euroopa Liit, Ameerika Ühendriigid kui ka ülejäänud suurriigid maailmas investeerivad ja soodustavad satelliitseirel baseeruvaid lahendusi. See on üks lootus majanduse elavdamiseks ning efektiivseks majandamiseks.

### 3.2 WorldView-2

USA California Vandenberg'i nimelisest õhujõudude baasist saadeti 8. oktoobril 2009 edukalt orbiidile satelliit WorldView-2 (edaspidi WV-2) (DigitalGlobe, 2013). Joonisel 1 on foto satelliidist WV-2. WV-2 liigub 770 km kõrgusel päikesesünkroonsel orbiidil, st. sama ala vaadatakse iga kord samal kellaajal. WV-2 ülelend toimub ja pilti saab teha iga päev ca 10:30 hommikul (European Space Imaging, 2013b). Päikesesünkroonsel orbiidil tiirleva satelliidi tiirlemistasand jääb alati Päikest ja Maad ühendava mõttelise telje suhtes sama nurga alla, mistõttu on iga orbiidi valgustingimused eelmisega võrreldes identsed (Voormansik, 2009). Identsed valgustingimused on väga olulised, kui soovitakse satelliidifotodelt uurida muutusi või on tarvis mosaiikida kokku kõrvutiolevaid kaadreid (CCRS, 2013). WV-2 tiirlemisperiood maalähedasel orbiidil on 100 minutit (European Space Imaging, 2013b).



Joonis 1. Satelliit WorldView-2 (DigitalGlobe, 2013).

WorldView-2 satelliit on varustatud WorldView-110 kaameraga, mis võimaldab toota kõrge lahutusega pankromaatilisi ja multispektraalseid fotosid (European Space Agency, 2013). Tabelis 1 on toodud fotode ruumiline lahutus vastavalt kaamera vaatenurgale.

Tabel 1. WorldView-2 fotode eraldusvõime maapinnal (European Space Imaging, 2013b).

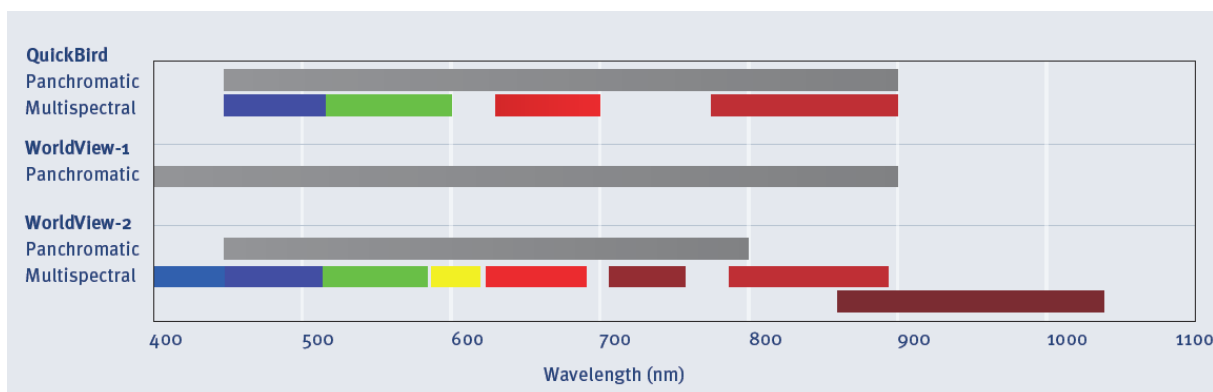
Eraldusvõime maapinnal:	nadiiris ehk otse alla pildistades	20° nadiirsuunast kõrvale pildistades
pankromaatilisel fotol	0,46 m	0,52 m
multispektraalsel fotol	1,85 m	2,07 m

Kaamera maksimaalne vaatenurk nadiirsuunast kõrvale on  $\pm 45^\circ$  ehk pildivälja laius maapinnal on kuni 1355 km. Vajadusel saab huvipakkuvat ala vaadata naaberorbiidilt või pikki lennutrajektoori ette- või tagasisuunas, mille tulemusena saab WV-2 vaadelda sama ala uuesti keskmiselt 1,1 päeva tagant, tehes pilte ruumilise lahutusega kuni 1m. Kõrgema, 0,52m lahutusega piltide korduvvaatluse sagedus on 3,7 päeva. Sage ülelend ja lühike korduvvaatluse intervall on olulised keskkonnakatastroofide, näiteks õlireostuste, tulekahjude või üleujutuste, jälgimiseks.

Satelliidiga on võimalik koguda pilte eri stsenaariumiga:

- teha mitmekordseid punktülesvõtteid mõõtmatega 16,4 km x 16,4 km
- teha ribaülesvõtteid pikkusega kuni 360 km
- pildistada ühe ülelennuga maksimaalselt 8-st külgnevast pildiribast koosnevat ala mõõtmatega 138 x 112 km
- pildistada ühe ülelennuga maksimaalselt 4-st stereopaarist koosnevat ala mõõtmatega 63 x 112 km (European Space Imaging, 2013b).

WorldView-110 kaamera on varustatud pankromaatilise ja 8 kanaliga multispektraalse sensoriga vahemikus nähtavast violetsest valgusest lähiinfrapunase kiirguseni. Iga spektraalne kanal mõõdab kindlat elektromagnetkiirguse spektrivahemikku, andes infot maapinna ja atmosfääri tingimuste kohta (European Space Imaging, 2013a). Joonisel 2 on kujutatud WV-2 ja tema eelkäijate QuickBird-i ja WorldView-1 spektrikanalid ja nende lainepikkuste vahemikud.



Joonis 2. WorldView-2 ja tema eelkäijate spektrikanalite lainepikkused (European Space Imaging, 2013a).

Multispektraalsete fotode abil on võimalik teostada maakatte klassifitseerimist, taimkatte analüüse, mõõta veekogude sügavust ning rannikuvete seisundit, tuvastada põllukultuuride liike, jälgida metsade seisundit, monitoorida torujuhtmeid või keskkonnoahtlikke rajatisi, jne. (European Space Imaging, 2013a). Tabelis 2 on täiendav informatsioon iga spektrikanali lainepikkuste vahemiku ja tema rakendusvõimaluste kohta.

**Tabel 2. WorldView-2 spektrikanalite lainepikkuste vahemikud ja kasutusala (European Space Imaging, 2013a) ja (Satellite Imaging Corporation, 2013).**

Kanali nr	Kanali värvus	Lainepikkuste vahemik (nm)	Kanali kasutusala
1	violetne	400-450	Neeldub tervete taimede klorofüllis ja aitab taimkatte analüüse täpsustada. Võrreldes ülejäänud kanalitega neeldub violetne kiirgus vees vähimal määral ja sobib veekogude sügavuse hindamiseks. Atmosfäärihajumine mõjutab oluliselt violetset kiirgust ja seega on violetne kanal kasulik atmosfääri korrektsiooni tegemiseks.
2	sinine	450-510	Hajub ja neeldub atmosfääris vähem kui violetne kanal. Neeldub taimede klorofüllis ning läbib hästi vett, olles sobiv rannikuvete kaardistamiseks. Saab kasutada metsatüüpide kaardistamiseks.
3	roheline	510-580	Võimaldab täpsemalt tuvastada terve taimeistiku peegeldumise maksimume. Sobib taimede vitaalsuse arvutamiseks. Kasutades koos kollase kanaliga on roheline eriti otstarbekas taimse materjali tüüpide eristamiseks.
4	kollane	585-625	Kollase kanali abil saab tuvastada maismaa ja veetaimeistiku „kollasust“. Samuti on võimalik õigevärvilisi pilte kujutada inimese nägemisele sarnasemalt.
5	punane	630-690	Sobib taimkatte kaardistamiseks, sest punane kiirgus neeldub tervete taimede klorofüllis, kuid peegeldub taimeistikuta aladelt tagasi. Punast kanalit saab kasutada taimkatteta pinnase, teede ja geoloogiliste iseärasuste klassifitseerimiseks.
6	punase serv	705-745	Tõhus taimede seisundi mõõtmiseks, tuues esile taime klorofüllitootlikkuse. Hõlbustab taimeistiku klassifitseerimist.
7	NIR1	770-895	Efektiivne niiskussisalduse ja taimede biomassi hindamiseks. Võimaldab eristada veemassi taimeistikust, tunda ära taimeistiku tüüpe ja teha vahet mullatüüpidel.
8	NIR2	860-1040	NIR1-ga võrreldes atmosfäärist vähem mõjutatud, võimaldab laiemalt taimeistikut ja biomassi analüüsida.

WV-2 on kõrglahutusega suunatava objektiiviga kommers-satelliit. Erinevalt teisest tuntud kaugseiresatelliitidest nagu Landsat ja MODIS, ei kogu ta andmeid pidevalt, pilte tehakse ainult vastavalt tellimustele.



## 4 Lähteandmed

Käesolevas uurimistöös kasutati kahte liiki lähteandmeid: WV-2 satelliidipilte ja «Metsaressursi arvestuse riikliku registri» ehk metsaregistri metsaeraldiste vektorandmeid. Metsaeraldiste kohta käivaid täiendavaid andmed võeti avalikust veebirakendusest: <http://register.metsad.ee/avalik/> (Metsaregister, 2013).

### 4.1 WorldView-2 satelliidipildid

Töös kasutati WorldView-2 multispektraalseid satelliidipilte. Joonisel 3 on toodud nähtava spektriosa pilt Mustametsa ja Kaitsemõisa külade ümbrusest Jõgeva maakonna ja Tartu maakonna piiril. Näidatud RGB-pilt on moodustatud WV-2 kanalitest 5 (punane - R), 3 (roheline - G) ja 2 (sinine - B). Pildil on muu taimkatte seas eristatavad lehtmetsad: sooja kollakasrohelist tooni ja okasmetsad: külma hallikasrohelist tooni.



Joonis 3. WoldView-2 satelliidipilt nähtavas spektriosas Mustametsa ja Kaitsemõisa külade ümbrusest 22. mail 2011.

Töös kasutati kahel erineval päeval, 22. mail ja 29. juunil 2011. aastal, ülesvõetud satelliidipilte. Tabel 3. abelis 3 on toodud satelliidipiltide tehnilised andmed.

**Tabel 3. Töös kasutatud satelliidipiltide parameetrid.**

	22. mail 2011	29. juunil 2011
Foto tegemise kellaeg	9:59:41 UTC	10:09:02 UTC
Skaneerimise suund	lennusuunas	lennusuunale vastupidine, tagasivaates
Eraldusvõime maapinnal	2m	2m
Päikese asimuut	176,3° (S)	177,1° (S)
Päikese kõrgusnurk horisondi suhtes	51,9°	54,8°
Satelliidi kaamera asimuut telgjoone suhtes	214,3° (SW)	337,2° (NW)
Vaatenurk nadiirsuunast kõrvale	13,7°	18,6°
Radiomeetriline lahutus	16 bitti	16 bitti



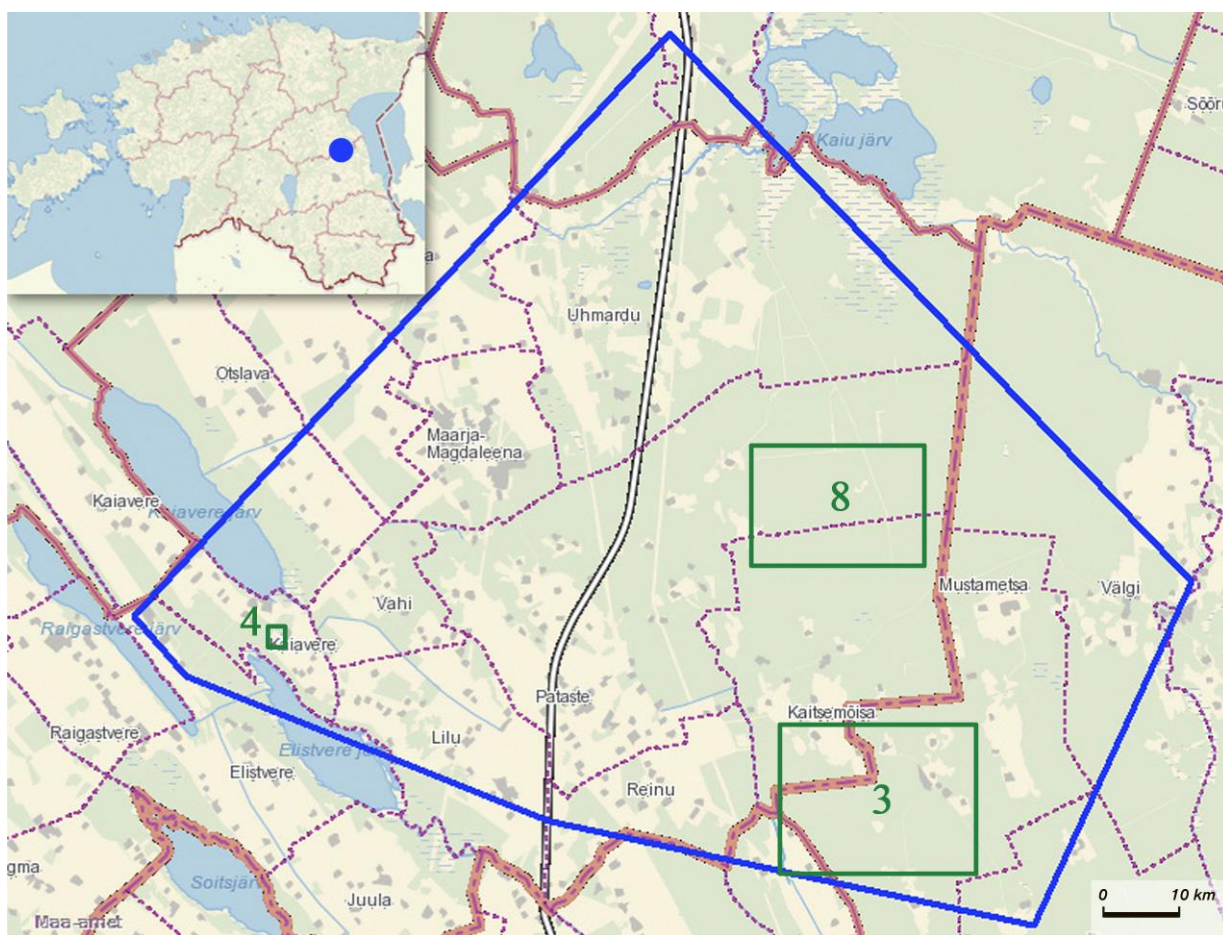
**Joonis 4. WorldView-2 22. mai (vasak) ja 29. juuni (parem) pankromaatiliste piltide väljalõige samast asukohast.**

WV-2 skaneerib pikki liikumissuunda nii ette- kui tahavaates ja saab kaamerat suunata väga erineva nurga alla nadiirsuunast kõrvale. Antud töös kasutatud kaks pilti on tehtud enam-vähem samal kellaajal - Päikese asimuudid oluliselt ei erinenud, seega mõlemal pildil langevad varjud ühes suunas, põhja. Mais skaneeris sensor lennusuunas ja juunis tagasivaates. Joonisel 4 on kujutatud töös kasutatud multispektraalsete piltide must-valged paarilised, mis on tehtud samades tingimustes. Kuna must-valge pildi ruumiline lahutus on



kõrgem, on neil piltidel pildistamise hetke sensori asendist tulenevad erinevused silmale märgatavamad. Mai pildil on kõrgemad objektid kaldu põhjasuunas ja näha on nende lõunaküljed. Juuni pildil on kõrgemad objektid kaldu lõunasuunas ja näha on nende põhjaküljed. Siiski on erinevused piisavalt väikesed ja pole märgatavad madalama lahtusega multispektraalsetel piltidel.

Vaadeldav satelliidifoto katab piirkonna pindalaga 92,7 km<sup>2</sup>. Uuritav Välgi testala asub Ida-Eestis. Pildile jääv ala hõlmab Jõgeva maakonna Tabivere valla idapoolseid külasid: Kaiavere, Kaitsemõisa, Kassema, Kõrenduse, Lilu, Otslava, Pataste, Reinu, Uhmardu, Vahi ning Tartu maakonna Vara valla Mustametsa ja Välgi küla. Foto ulatus on näha joonisel 5. Visuaalsel vaatlusel võib öelda, et üle 60% fotole jäävast maa-alast on kaetud metsaga.



Joonis 5. Uurimistöös kasutatud WorldView-2 pildi ja viidatud väljalõigete ulatus ja asukoht. Vasakul üleval servas oleval ülevaatekaardil on sinise täpiga tähistatud uurimisala asukoht Eestis. Suurel kaardil on sinise polügooniga näidatud algandmetena kasutatud satelliidipildi ulatus. Roheliste ristkülikutega on tähistatud näidisväljalõigete (joonised 3, 4 ja 8) asukohad. Aluskaart: Maa-amet

## 4.2 Metsaregister

Satelliidipildilt huvipakkuvate alade leidmise lihtsustamiseks kasutati abimaterjalina Metsaressursi arvestuse riikliku registri (edaspidi *metsaregistri*) metsaeraldiste vektorareaale seisuga 21. juuni 2011.

Metsaregistris hoitakse metsa inventeerimise käigus eraldi üksusena kirjeldatud, pinnalt terviklikke metsaosi (eraldisi), mis on oma päritolu, koosseisu, vanuse, rinnaspindala, kõrguse, tagavara ja metsakasvukohatüübilt kogu ulatuses piisavalt ühetaolised. (Metsaregistri põhimäärus, 2007). Metsakorralduse üheks eesmärgiks on saada andmeid metsa seisundi ja varude suuruse kohta (Metsaseadus, 2006). Selle eesmärgi täitmiseks on metsaomanikul kohustus inventeerida metsad kümneaastase intervalliga, mis loob võimaluse, et registris andmed uuenevad. Joonisel 6 on näha Metsaregistri avaliku veebirakenduse kaardiaken koos kasutaja jaoks vajaliku funktsionaalsusega. Näidiseks on välja valitud Tabivere vallas asuv eraldis, mille takseerikirjeldusest võib lugeda, et eraldise esimene rinne koosneb 100% männist, puistu keskmine vanus on 80 aastat ja keskmine kõrgus 28m. Eraldiste takseerikirjelduste alusel tuvastati uurimistööks sobilikud metsaalad.

The screenshot displays the Metsaregistri veebirakenduse kaardiaken. The main map shows a forest stand in Tabivere, with a yellow highlight indicating the selected area. The map includes a scale bar (0-100m) and a coordinate system (N: 6496773 E: 663806). The left sidebar shows a search results list with 20 results, including details for each stand. The right sidebar shows the detailed view of the selected stand, including its location, area, and characteristics.

**Üldised takseerandmed**

Asukoht			
Maakond	Jõgeva		
Vald	Tabivere		
Majandusüksus	201		

Eraldis			
Omandivorm	Riigimets, muu		
Katastritunnus	77302:002:0139		
Kvartali nr.	201		
Eraldise nr.	4		
Pindala (ha)	3,6		
Kaitsealuse ala pindala (ha)	0,0		
Kasvukohatüüp	Jänesekapsa-mustika		
Korraldaja	Metsabüroo OÜ		
Taks. aeg	15.07.2008		
Otsuse kp	9.07.2009		

Esimene rinne			
Liik	%	A	H
MA	100	80	28

**A - puistu keskmine vanus**  
**H - puistu keskmine kõrgus**

**Lugupeetud kasutaja!**

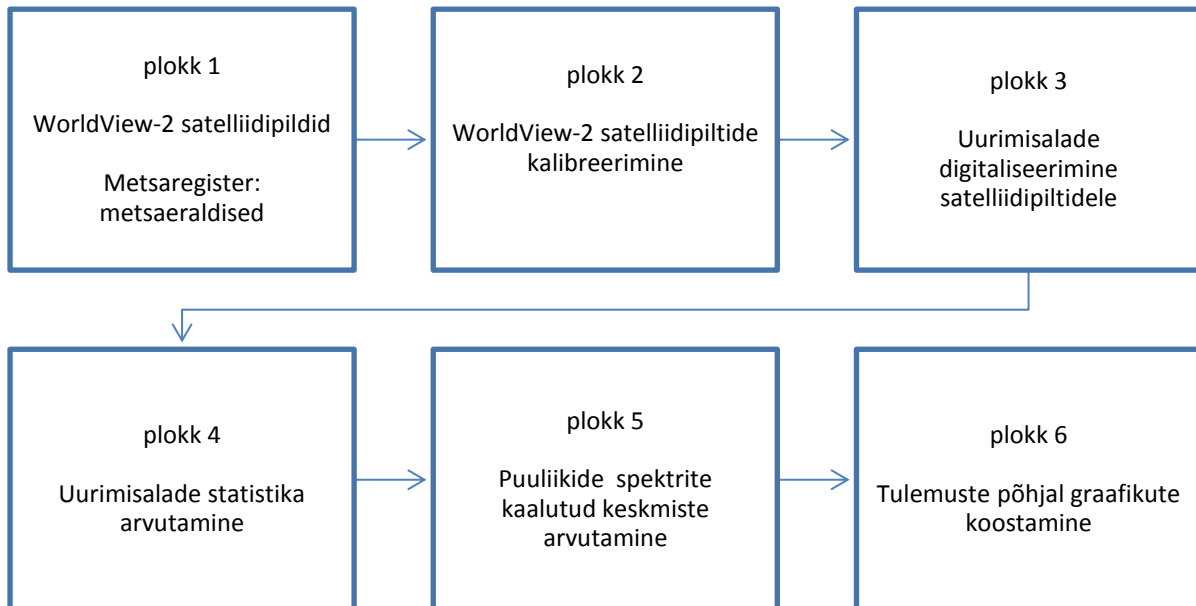
Sellel leheküljel saate tutvuda Metsaregistri uuenenud avaliku teenusega, mis võimaldab leida kaardi metsaeraldisi, katastrinfot ja nendega seotud pildid. Eelmine versiooniga võrreldes on teenusesse lisandunud palju uut, selle leidmiseks on abiks väike spikker:

- Nüüd on võimalik otselinkimine katastritunnusega! Näiteks <http://register.metsad.ee/avalik/?kaster=47302:001:0553>
- Kaardi suurendamiseks ja vähendamiseks kasuta suurendusriba, hiire rullikut, + ja - klahve klaviatuuri või vastasnooltega klaviatuuri.
- Kaardi nihutamiseks 'haara hiirega kaardist', kasuta nooleklahve või navigatsioonikent.
- Otsingu tegemiseks vali rippmenüüst sobiv otsing ja sisesta märksõna sobival kujul (näidistega saab tutvuda kaardirakenduse avavaatel).
- Otsingutulemust saab filtreerida (nn „puuvaade“), kehtestatud ja kehtestamata metsakavade eraldised ja katastrid on eristatud värvitooniga (tumesinine - kehtestatud, helesinine - kehtestamata).

Joonis 6. Metsaregistri veebirakenduse kaardiaken.

## 5 Andmetöötlaste metoodika

Andmetöötlaste etapid on välja toodud joonisel 7.



Joonis 7. Andmetöötlaste töetappide ajaline järjestus

### p.1 WorldView-2 multispektraalsed satelliidipildid ja Metsaregistri eraldised.

Satelliidi nähtava spektriosa pildil eristuvad metsad selgelt muust taimestikust, siiski tuleb uurimistöö eesmärgile vastavate metsade väljaselgitamiseks kasutada abimaterjalina olemasolevaid metsa-andmeid. Eesti Põhikaardi tänapäevasel versioonil on toodud välja metsaalad üldiselt, leht- või okasmetsi ei eristata. CORINE Eesti maakattekaardil on metsad jagatud leht-, okas- ja segametsadeks, kuid see metsade klassifikatsioon ei ole käesoleva töö tarbeks piisav. Metsaregistris olevad andmed pakuvad detailsemat informatsiooni. Metsaeraldiste puhul on registris teada nende esimese rinde liigiline koosseis. Puuliigile iseloomulike heleduskordajate arvutamiseks tuleb valida eraldised, mis on liigiliselt võimalikult homogeensed. Antud töös valiti välja eraldised, mille peamise puuliigi (harilik mänd, harilik kuusk, kask ja hall lepp) osakaal on  $\geq 90\%$ . Teiseks kriteeriumiks oli puistu keskmine kõrgus  $\geq 15\text{m}$ .

### p.2 WorldView-2 satelliidipiltide kalibreerimine

WV-2 piltide kalibreerimiseks kasutati ENVI 4.8 tarkvara tööriista „WorldView Calibration Parameters“. Kalibreerimisega arvutati iga spektrikanali piksliväärtused heleduskordaja



ühikutesse –  $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm} \cdot \text{sr})$ . Uurimistöös võrreldi omavahel kahelt erineval kuupäeval tehtud pildilt arvutatud heleduskordajaid. Kalibreerimise abil taandati piksliväärtused samadele valgustingimustele (mai lõpus ja juuni lõpus tehtud piltidel oli erinev Päikese langemisnurk) ja kahel erineval kuupäeval tehtud mõõtmised said omavahel võrreldavaks.

### p.3 Uurimisalade digitaliseerimine satelliidipiltidele

Satelliidipiltide vaatlemiseks ja metsaareaalide digitaliseerimiseks kasutati vabavaralist programmi BEAM (versioon 4.10.3). Lepikute, kaasikute, männikute ja kuusikute leidmiseks ning piiritlemiseks kasutati metsaregistri eraldiste vektorareaale. Visuaalse vaatluse teel leiti pildilt eeldatavat tüüpi metsaeraldised: sooja kollakasrohelist tooni on lehtmetsad ja külma hallikasrohelist tooni on okasmetsad. Metsaregistri rakendusest kontrolliti valitud eraldise vastavust nõuetele. Nõuetekohase eraldise piires digitaliseeriti satelliidipildi alusel uus areaal. Joonisel 8 on väljalõige fotost, sellel kuvatud eraldiste piirid ning väljalõike piiresse jäänud sobilikud metsatükid.



Joonis 8. WorldView-2 22. mai 2011 pildi väljalõige koos metsaregistri vektorkihi ja digitaliseeritud areaalidega. Metsaregistri eraldiste vektorkiht on kujutatud musta joonega. Värvilised areaalid on töö käigus digitaliseeritud kriteeriumidele vastavad metsaeraldised.

Esmalt digitaliseeriti areaalid 22. mail 2011 tehtud pildi alusel. Seejärel imporditi saadud areaalid uude tööseisu ja võrreldi 29. juunil 2011 tehtud fotoga ning erinevuse korral

muudeti vastavalt areaalide piire. Kuigi mai ja juuni pildid on tehtud erinevas vaatesuunas, ei mõjuta see areaalide digitaliseerimisel nende piiride asukoha valikut. Kokku digitaliseeriti ühe pildi alusel 39 areaali. Areaalide arv metsatüübi lõikes ja areaalide pindala on toodud tabelis 4. Peamiseks probleemiks antud etapis võib pidada uurimisalale jäänud sobivate metsaeraldiste vähest hulka hoolimata ala metsasusest. Maikuu pildil oli osa metsast kaetud pilvede ja nende poolt heidetud varjudega, see piirkond tuli tööst välja jätta. Testaladena sobisid ainult piirkonnad, mis mõlemal satelliidipildil (nii mais kui juunis) olid täiesti pilvitud.

**Tabel 4. Areaalide jaotuvus ja pindalad puuliikide lõikes.**

	Areaalide arv	Areaalide kogupindala pikslites	Areaalide kogupindala, ha
<b>Kuusik</b>	8	21 494	8,5976
<b>Männik</b>	10	65 923	26,369
<b>Lepik</b>	9	18 464	7,3856
<b>Kaasik</b>	12	43 326	17,330
<b>Kokku</b>	<b>39</b>	<b>149 21</b>	<b>59,683</b>

#### **p.4 Uurimisalade statistika arvutamine**

Iga areaali kohta arvutati areaali sisse jäänud pildiosa pikslite keskmine heleduskordaja kõigis kaheksas kanalis nii mai kui juuni foto kohta. Heleduskordajate arvutamiseks kasutati programmi BEAM töökäsku Statistics. Saadud areaalide keskväärtused salvestati tabelina. Tulemused on esitatud lisas (Lisa 1-2).

#### **p.5 Puuliikide spektrite kaalutud keskmiste arvutamine**

Töö eesmärk on leida puuliigile iseloomulikud spektri signatuurid. Järgmises etapis arvutati puuliigi keskmised heleduskordajad kõigis kanalites. Valitud areaalid ei ole kõik samade mõõtmetega, mistõttu poleks nende andmed võrreldavad. Pindalaerinevuste taandamiseks arvutati puuliikide spektrite kaalutud aritmeetilised keskmised, kasutades järgmist valemit:

$$\bar{a} = \frac{b_1 a_1 + b_2 a_2 + \dots + b_n a_n}{b_1 + b_2 + \dots + b_n}$$

$\bar{a}$  on ühe puuliigi spektrite kaalutud aritmeetiline keskmine.  $a_1, a_2, a_n$  on ala keskmine heleduskordaja.  $b_1, b_2, b_n$  on ala pikslite arv. Puuliigi lõikes kõigi alade heleduskordajate ja neile vastavate ala pikslite arvude korrutiste summa jagatud kõigi alade pikslite summaga. Tulemused on esitatud lisas (Lisa 3).

## **p.6 Tulemuste põhjal graafikute koostamine**

Numbriliste tulemuste tõlgendamiseks koostati eraldi graafikud kase-, kuuse-, lepa- ja männimetsade heleduskordajate kohta mais ning juunis (joonised 9-16). Lisaks koostati võrdlevad graafikud kõigi nelja puuliigi kaalutud keskmiste heleduskordajate kohta mais (joonis 17) ja juunis (joonis 18). Puuliigi heleduskordajate ajaliseks võrdluseks koostati graafikud kase-, kuuse-, lepa- ja männimetsade kaalutud keskmiste heleduskordajate kohta 22. mail ja 29. juunil (joonised 19-22).



## 6 Tulemuste analüüs

Joonistel 9-16 (lk 19) on graafiliselt esitatud iga puuliigi kõigi testalade spektrid eraldi mai ja juuni pildil. Vastavalt tabelile 2 tähistab joonisel spektraalne kanal nr 1 violetset ja kanal nr 8 teist lähiiinfrapunast (NIR2) kanalit. Lisas 1 on esitatud kõigi metsade 22. mai 2011 heleduskordajad kanalites 1-8 ja lisas 2 kõigi metsade 29. juuni 2011 heleduskordajad kanalites 1-8.

Tulemuste võrdlemisel on näha, et nähtava valguse spektrialal (kanalid 1-5) on kõigi puuliikide üksikute metsade heleduskordajate erinevused mais pea olematud. Sama tulemus on ka juunis. Lähiiinfrapunastes spektrivahemikes (kanalid 6-8) ilmnevad testmetsade heleduskordajates suuremad erinevused. Heleduskordajate varieeruvus on metsatüübiti erinev, uuritud kuusikute spektrisignatuurid (joonis 11 ja joonis 12) on väga sarnased, seevastu kasemetsadel silmnähtavalt erinevad (joonis 15 ja joonis 16).

Kõigi männimetsade spektrisignatuurides (joonis 9 ja joonis 10) on lähiiinfrapunastes vahemikes võrreldes teiste metsadega mõlemal kuul väikesed erinevused, mis on erinevate kanalite võrdluses peaaegu sama suured. Kõige heledama ja kõige tumedama männimetsa heleduskordajate vahe 6. - 8. kanali keskmisena on 22. mail 0,6 ja 29. juunil 0,8 heleduskordaja ühikut ( $\mu W/(cm^2 * nm * sr)$ ).

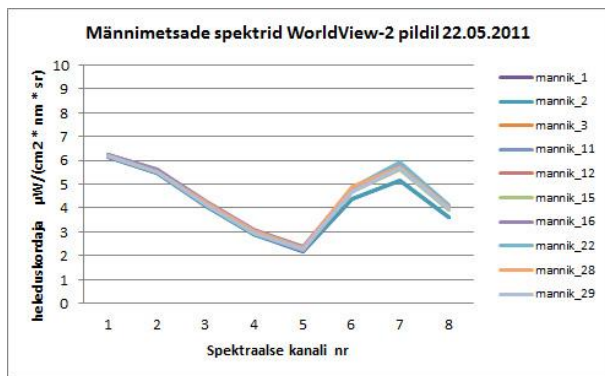
Kuusemetsade spektrisignatuuride (joonis 11 ja joonis 12) omavahelised erinevused on mõlemal kuul minimaalsed ja kanalite võrdluses samas suurusjärgus. Kõige heledama ja kõige tumedama kuusemetsa heleduskordaja vahe on 6. - 8. kanali keskmisena 22. mail 0,4 ja 29. juunil 0,3 heleduskordaja ühikut. Ajalises võrdluses on okasmetsade heledus nii nähtava valguse kui ka lähiiinfrapunase kiirguse vahemikes juunis väiksem kui mais.

Kõigi lepametsade signatuurides (joonis 13 ja joonis 14) on lähiiinfrapunase kiirguse vahemikes mõlemal kuul väikesed erinevused. Heleduskordajate erinevused jäävad mõlemal kuul kõigis lähiiinfrapunastes spektrivahemikes samasse suurusjärku, olles kanalite vahel veidi erinevad. Kõige heledama ja kõige tumedama lepametsa heleduskordaja vahe on 6. ja 8. kanalis 22. mail 0,8 ja 29. juunil 0,7 ühikut. 7. kanalis on kõige heledama ja kõige tumedama lepametsa heleduskordaja vahe mõlemal kuupäeval suurem: 1,2 heleduskordaja ühikut. Lepametsade heledus juunis on võrreldes maiga 7. ja 8. kanalis praktiliselt sama. 6. kanalis on lepametsade heledus märgatavalt langenud: 1,2 kuni 1,9 heleduskordaja ühikut.

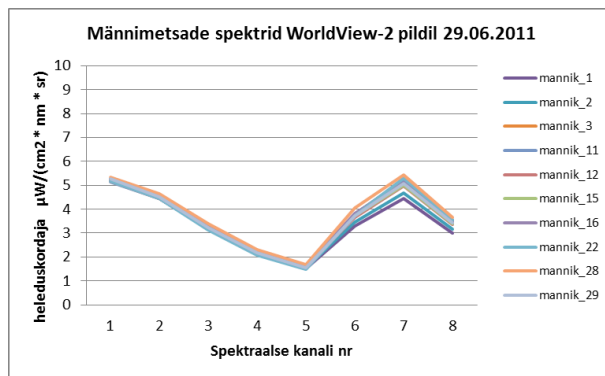
Kasemetsade signatuurid varieeruvad nelja puuliigi võrdluses kõige rohkem. Erinevused on kõige suuremad 7. kanalis. Juunis varieeruvad tulemused rohkem kui mais. Kui võrrelda iga kasemetsa heleduse muutust 7. kanalis mais ja juunis, on märgata, et üldiselt on metsade heleduskordajad eri kuudel praktiliselt samad. Kuid on paar metsa, mille heledused juunis on võrreldes ülejäänud metsadega silmnähtavalt muutunud. Kõige heledama ja kõige tumedama kasemetsa heleduskordaja vahe on 6. kanalis mõlemal kuupäeval 1,9 heleduskordaja ühikut. 7. ja 8. kanalis on kõige heledama ja kõige tumedama kasemetsa heleduskordaja vahe juunis suurem: 22. mail vastavalt 3,1 ja 2,0 ning 29. juunil vastavalt 3,6 ja 2,4 heleduskordaja ühikut.

Vaadates kõigi metsade heleduskordajate muutust individuaalselt, on märgata erinevat käitumist kase- ja lepametsade heleduskordajate muutumises võrreldes kuuse- ja männimetsadega. Lepikute seas on metsi, mille heleduskordaja 7. ja 8. kanalis juunis isegi veidi tõuseb.

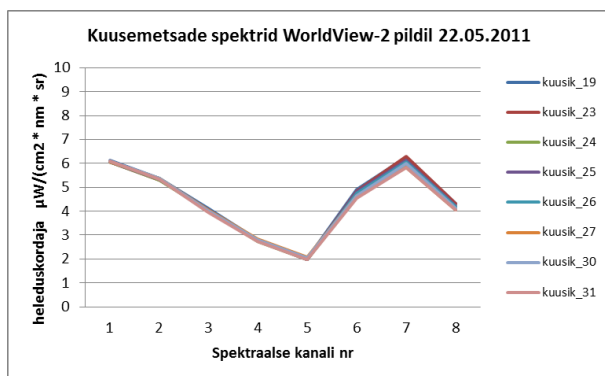
Kasemetsade seas on paar metsa, mille heledus tunduvalt suureneb. See võib olla seotud metsade fenoloogilise tsükliga. Juuni lõpus on lehed rohkem välja arenenud ning suurem osa valgust peegeldub tagasi lehtedelt ja okstelt. Mais on võrreldes juuniga puude okstel, võradel ja maapinnal Päikese kiirguse peegeldamisel ja hajutamisel suurem osakaal.



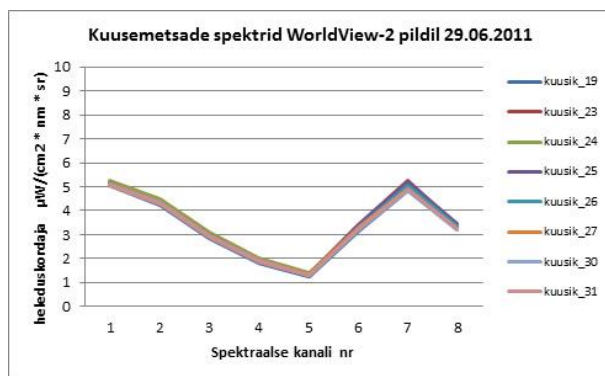
Joonis 9. Männimetsade spektrid WorldView-2 pildil 22.05.2011.



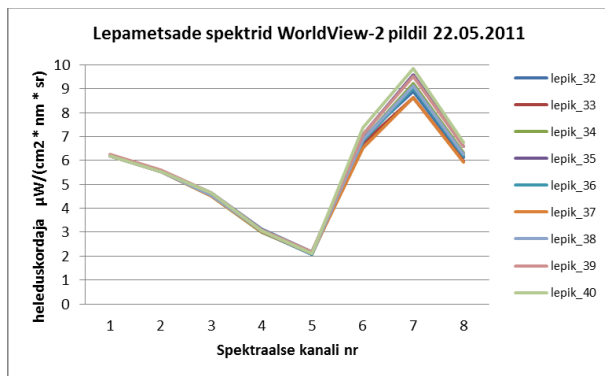
Joonis 10. Männimetsade spektrid WorldView-2 pildil 29.06.2011.



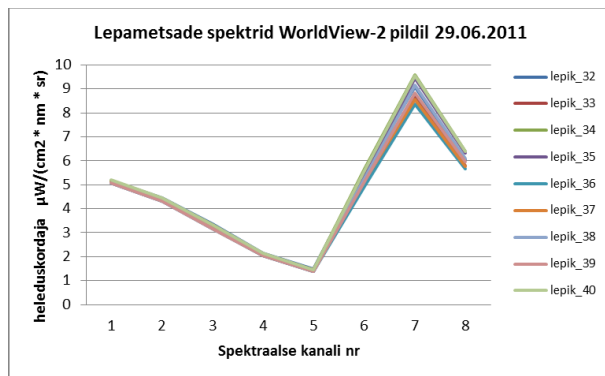
Joonis 11. Kuusemetsade spektrid WorldView-2 pildil 22.05.2011.



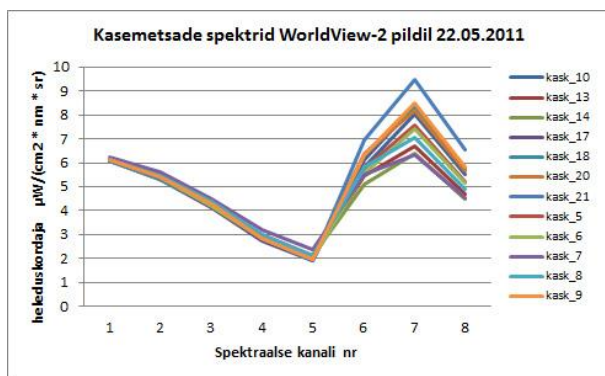
Joonis 12. Kuusemetsade spektrid WorldView-2 pildil 29.06.2011.



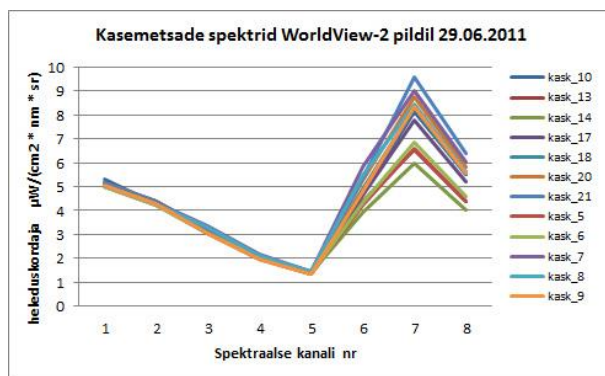
Joonis 13. Lepametsade spektrid WorldView-2 pildil 22.05.2011.



Joonis 14. Lepametsade spektrid WorldView-2 pildil 29.06.2011.



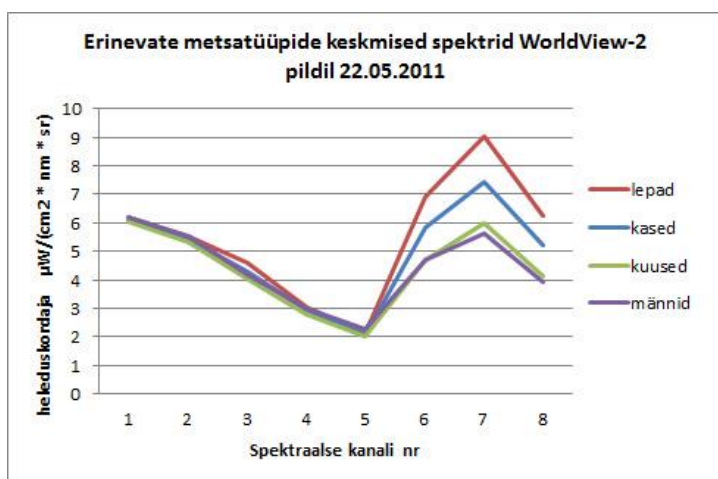
Joonis 15. Kasemetsade spektrid WorldView-2 pildil 22.05.2011.



Joonis 16. Kasemetsade spektrid WorldView-2 pildil 29.06.2011.

Järgnevalt käsitletavat 22. mai 2011 ja 29. juuni 2011 puuliikide kaalutud keskmised heleduskordajad on esitatud Lisas 3.

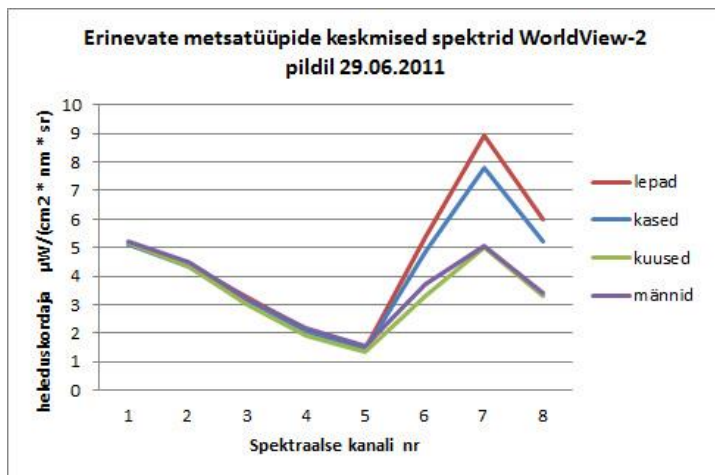
Joonisel 17 on esitatud kase-, lepa-, kuuse- ja männimetsade keskmised spektrid mais. Nähtava valguse vahemikus (kanalid 1-5) olulisi erinevusi metsade heleduskordajates ei esine. Seevastu on märgatavamad heleduskordajate erinevused lähiinfrapunase kiirguse vahemikes (kanalid 6-8): lehtmetsad on heledamad kui okasmetsad. Samas on lepametsad (joonisel punasega) heledamad kui kasemetsad (joonisel sinisega). Lepametsade keskmised heleduskordajad 22. mai 2011 pildil kanalites 6-8 on vastavalt 6,9, 9,1 ja 6,2 heleduskordaja ühikut. Kasemetsade keskmised heleduskordajad 22. mai 2011 pildil kanalites 6-8 on vastavalt 5,9, 7,5 ja 5,2 heleduskordaja ühikut. Okasmetsade omavahelised erinevused on eristamatud kanalis nr 6, kanalites nr 7 (NIR1) ja 8 on väikesed erinevused. Kuusemetsade (joonisel rohelisega) keskmised heleduskordajad 22. mai 2011 pildil kanalites 6-8 on vastavalt 4,7, 6,0 ja 4,1 heleduskordaja ühikut. Männimetsade (joonisel violetsega) keskmised heledused on 22. mai 2011 pildil kanalites 6-8 vastavalt 4,7, 5,6 ja 3,9 heleduskordaja ühikut.



Joonis 17. Erinevate metsatüüpide keskmised spektrid WorldView-2 pildil 22.05.2011.

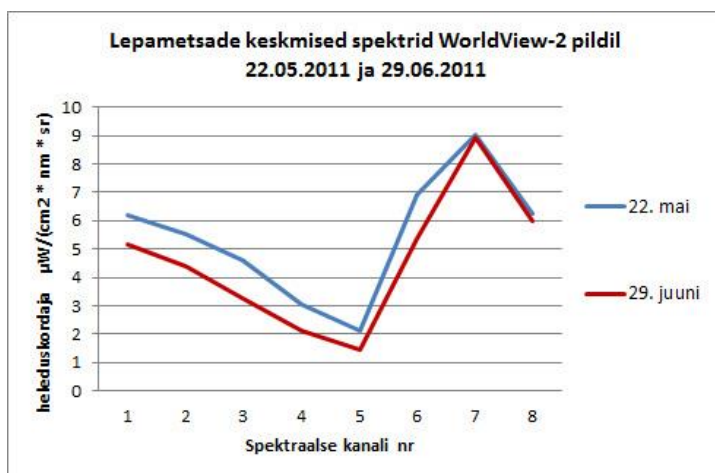
Joonisel 18 on esitatud kase-, lepa-, kuuse- ja männimetsade keskmised spektrid juunis. Nähtava valguse vahemikus (kanalid 1-5) olulisi erinevusi metsade heleduskordajates ei esine. Ka juunis eristuvad omavahel lähiinfrapunases piirkonnas okas- ja lehtmetsad. Lepametsad on heledamad kui kasemetsad. Männimetsad on kanalis nr 6 0,4 heleduskordaja ühikut heledamad kui kuusemetsad. Kanalites nr 7 ja 8 okasmetsade omavahelisi erinevusi ei esine. Lepametsade heledused 29. juuni 2011 pildil kanalites 6-8 on vastavalt 5,4, 9,0 ja 6,0 heleduskordaja ühikut. Kasemetsade heledused sama kuupäeva pildil kanalites 6-8 on vastavalt 4,8, 7,8 ja 5,2 heleduskordaja ühikut. Kuusemetsade heledused 29. juuni 2011 pildil

kanalites 6-8 on vastavalt 3,3, 5,0 ja 3,3 heleduskordaja ühikut. Männimetsade heledused sama kuupäeva pildil kanalites 6-8 on vastavalt 3,7, 5,0 ja 3,4 heleduskordaja ühikut.



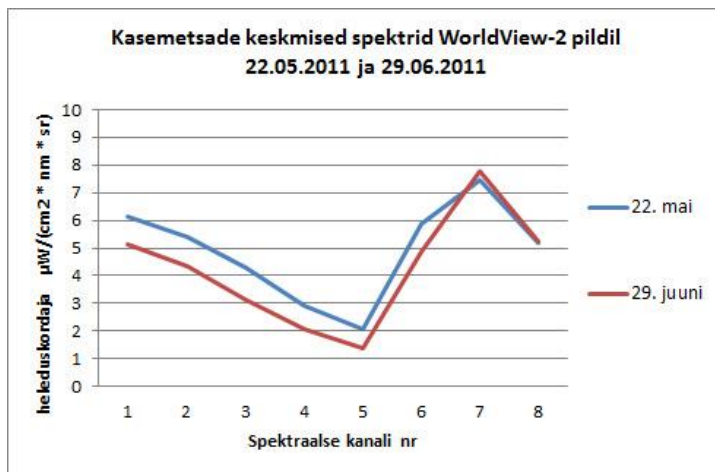
Joonis 18. Erinevate metsatüüpide keskmised spektrid WorldView-2 pildil 29.06.2011.

Joonistel 19 kuni 22 on võimalike ajaliste muutuste välja toomiseks võrdluseks esitatud erinevate metsatüüpide 22. mai ja 29. juuni 2011 keskmised spektrid. Nähtava valguse vahemikus on selgesti märgata heleduste ühtlane vähenemine juunis kõigis metsatüüpides. Lähiiinfrapunases vahemikus on spektrite käitumine erinev. Lehtmetsade heleduste muutus on kanalites 7 ja 8 mais ja juunis visuaalselt eristamatud. Kanalis 6 on selged erinevused. Okasmetsade heledused jätkavad nähtava valguse vahemiku trendi ja on juunis väiksemad kui mais.



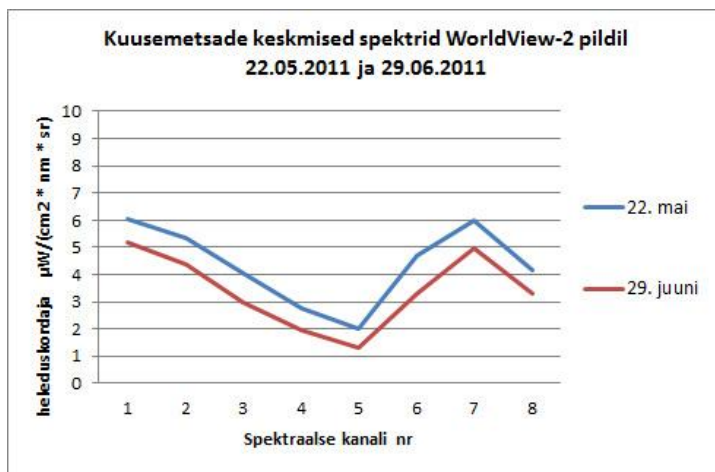
Joonis 19. Lepametsade keskmised spektrid WorldView-2 pildil 22.05.2011 ja 29.06.2011.

Lepametsade heledus 6. kanalis on juunis 1,6 ühiku võrra madalam kui mais, võrreldes teiste metsaliikidega on see suurim heleduse langemine. 7. ja 8. kanalis väheneb heledus minimaalselt vastavalt 0,1 ja 0,2 heleduskordaja ühiku võrra.



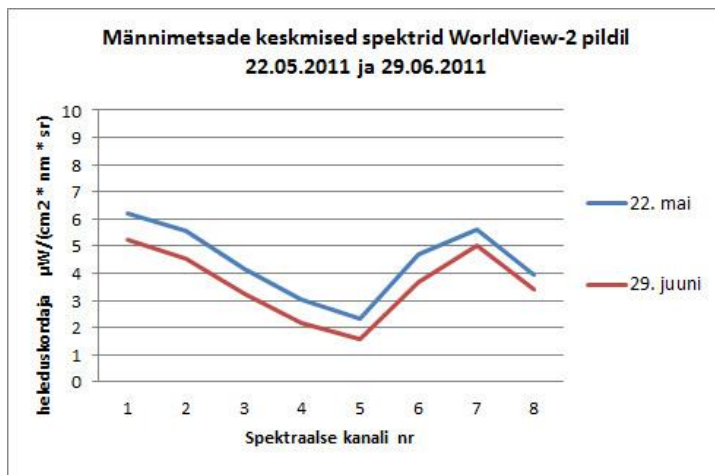
Joonis 20. Kasemetsade keskmised spektrid WorldView-2 pildil 22.05.2011 ja 29.06.2011.

Kasemetsade heledus 6. kanalis on juunis 1 ühiku võrra madalam kui mais. 7. kanalis toimub minimaalne heleduse kasvamine 0,3 heleduskordaja ühiku võrra. 8. kanalis on kõigi kasemetsade keskmine heleduskordaja mõlemal kuul täpselt sama.



Joonis 21. Kuusemetsade keskmised spektrid WorldView-2 pildil 22.05.2011 ja 29.06.2011.

Kuusemetsade heledus 6. kanalis on juunis 1,4 ühiku võrra madalam kui mais. 7. ja 8. kanalis väheneb heledus vastavalt 1 ja 0,8 heleduskordaja ühiku võrra.



Joonis 22. Männimetsade keskmised spektrid WorldView-2 pildil 22.05.2011 ja 29.06.2011.

Männimetsade heledus on kanalites 1-6 juunis 1 ühiku võrra madalam kui mais. 7. ja 8. kanal is väheneb heledus vastavalt 0,6 ja 0,5 heleduskordaja ühiku võrra.

Leitud signatuuride põhjal võib öelda, et nähtava valguse piirkonnas ei ole võimalik puuliike eristada. Lähiiinfrapunase kiirguse vahemikes eristuvad lehtmetsad selgelt okasmetsadest. Tiit Nilsoni suulistel andmetel on sarnastele tulemustele jõutud ka varasemates uurimustes. Leht- ja okasmetsade omavaheline eristumine on suurem 29. juuni pildil, seda võib seostada puude fenoloogilisest tsükliga.

Käesoleva töö eesmärk oli uurida puuliikide eristamise võimalusi multispektraalsete satelliidipiltide abil. Uurimuses vaadeldud kaasikute ja leplikute kaalutud keskmised heleduskordajad on üksteisest erinevad: kaasikud on tumedamad kui leplikud. Samas on kaasikute ja leplikute heleduskordajad võrreldes okasmetsadega lähiiinfrapunase kiirguse vahemikes tunduvalt varieeruvad. Kui võrrelda kõiki saadud kasemetsade heleduskordajaid, on mõned kasemetsad heledamad kui leplikud keskmiselt. Automaatne klassifitseerimine liigitataks sellised kasemetsad leplikuteks. Sama tulemus on nii 22. mai kui 29. juuni fotol. Erinevatel kuupäevadel tehtud piltide vahel valides, poleks vahet, tulemus jääks ikka ebarahuldavaks. Võib järeldada, et satelliidifoto andmed üksi ei ole piisavad, et kaasikuid ja leplikuid omavahel eristada.

Tulemuse põhjal võib öelda, et ka okasmetsad omavahel selgelt ei eristu ja puuliigile iseloomulikke spektrisignatuure välja tuua ei saa. Tiit Nilsoni andmetel võiksid männikud olla nähtava valguse punases (5. kanal) kuusikutest heledamad, kuid käesolevas töös sellist seaduspära ei ilmnenu. Okasmetsade varieeruvus on kõigis lähiiinfrapunase kiirguse vahemikes küll väike, kuid ka üksikud männikud ja kuusikud võivad olla heledamad, kui teise puuliigi keskmine ja anda automaatsel klassifitseerimisel eksliku tulemuse.

Edasistes töödes tuleks lisaks võtta arvesse (kaasata valimisse) Metsaregistri avaliku rakenduse takseerikirjeldustes puuduvad, kuid eraldiste kohta kogutavad boniteedi andmed. Tiit Nilsoni sõnul peaks parema boniteediga kaasikute heleduskordajad lähiinfrapunase kiirguse vahemikes olema suuremad.



## Kokkuvõte

Töö eesmärgiks oli uurida metsatüüpide (kaasik, leplik, kuusik, männik) eristamise võimalusi multispektraalsete satelliidipiltide abil.

Lähteandmetena kasutati WorldView-2 kaheksa spektraalse kanaliga satelliidipilte Välgil testala kohta Tartu- ja Jõgevamaal ning Metsaregistri avalikke andmeid metsaeraldiste liigilise koosseisu kohta. Aastaajast tulenevate muutuste tuvastamiseks võrreldi 22. mail ja 29. juunil 2011 tehtud piltide andmeid. Satelliidipiltide vaatlemiseks ja metsaarealide digitaliseerimiseks kasutati vabavaralist programmi BEAM (versioon 4.10.3). Iga areaali kohta arvutati areaali sisse jäänud pildiosa pikslite keskmine heleduskordaja kõigis kaheksas kanalis nii mai kui juuni foto kohta. Spektrisignatuuride saamiseks arvutati puuliikide kaalutud keskmised heleduskordajad ning vormistati tulemused graafikutena.

Leitud signatuuride põhjal võib öelda, et nähtava valguse piirkonnas ei ole võimalik puuliike eristada. Lähiiinfrapunase kiirguse vahemikes eristuvad selgelt lehtmetsad okasmetsadest. WorldView-2 spektrikanalites 6-8 olid kuusikud ja männikud  $1-4 \mu\text{W}/(\text{cm}^2 * \text{nm} * \text{sr})$  tumedamad kui leplikud ja kaasikud. Näib, et okasmetsade eristamiseks lehtmetsadest sobib kõige paremini WorldView-2 7. kanal (770-895 nm) juuni piltidel, sel juhul oli heleduskordajate vahe suurim ( $2,7-4 \mu\text{W}/(\text{cm}^2 * \text{nm} * \text{sr})$ ). Täpsete puuliikide tuvastamine WorldView-2 satelliidipiltide abil on keerulisem ja praktikas mitte nii lihtsalt rakendatav. Kuuse ja männi spektraalsed signatuurid WorldView-2 mõõdetud spektrivahemikes erinesid minimaalselt. Lepikute ja kaasikute kaalutud keskmised spektraalsed signatuurid küll erinesid, kuid üksikuid puistuid uurides ilmnesid vastuolud. Lepikud paistsid lähiiinfrapunastes kanalites (6-8)  $1-2 \mu\text{W}/(\text{cm}^2 * \text{nm} * \text{sr})$  kaasikutest keskmiselt heledamad, kuid kahjuks esines kaasikuid, mille heleduskordajad olid kanalites 6-8 heledamad kui osadel leplikutel.

Puuliikide eristamine võib osutuda võimalikuks objektipõhiste klassifitseerimisalgoritmidega. WorldView-2 pankromaatilise kanali ruumiline lahutus on väga kõrge (0,5 m) ja näitab ära metsa peapuuliigile iseloomuliku võra suuruse ja kuju. Selle info rakendatavuse välja selgitamiseks tuleks läbi viia täiendavaid uurimusi.

## **Summary: Possibilities for tree species classification with multispectral WorldView-2 images**

The goal of the research was to analyse the possibilities for forest types (birch, alder, spruce, pine) classification using multispectral WorldView-2 images. This topic attracts interest since monitoring the tree species distribution using satellite imagery remains a challenging issue and more research is needed to improve the methodology of gathering detailed forest information from multispectral images.

Over 50% of Estonian land is covered with forests; therefore, the possibility to use satellite images that cover large areas of forest can reduce the cost of forest inventories, provide up-to-date maps and benefit the industry sector. In Estonia, the consistent forested areas are quite small compared to the stand sizes in other countries. Often the size of a single separate forest stand is less than 1 hectare; therefore acquiring information about these small areas required can be complicated and requires very high resolution satellite imagery.

For this research project, WorldView-2 8-band multispectral images were used as the input data. Overall 39 stands located in Välgi test area in Tartu and Jõgeva County were chosen for carrying out the experiments. The reference data for stands (species composition, main species and tree height) was acquired from Estonian Forest Registry database that provides the forest inventory databases for public use. In order to detect the seasonal differences of chosen tree stands, two satellite images were analysed. The first image was taken on 22 May 2011 and the second on 29 June 2011. BEAM (version 4.10.3), an open-source toolbox and development platform for viewing, analysing and processing of remote sensing raster data, was used to process satellite images and digitalize forest areas. For each area, the average reflectance values of image pixels were calculated in all 8 spectral bands for May and June. In order to get spectral reflectance signatures, species weighted average reflectance values were calculated.

The results from analysing spectral signatures demonstrated that from the visible part of the spectrum, it is very difficult to discriminate the different tree species. On the other hand, there is a clear differentiation between coniferous and deciduous trees in the infrared part of the spectrum. From three different WorldView-2 spectral bands (Red Edge, Near-IR1, Near-IR2) can be seen that spruce and pine trees were 1-4  $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 * \text{nm} * \text{sr})$  darker than alder and birch trees. It can be concluded that the most suitable channel in WorldView-2 to discriminate coniferous trees from deciduous trees is in Near-IR1 band (770-895 nm). This

result was achieved during the month of June when the reflectance values differed the most, by 2,7-4  $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 * \text{nm} * \text{sr})$ . More detailed tree species detection from WorldView-2 imagery was hard to achieve and could be gained only when additional reference data is available. Furthermore, the discrimination of spectral signatures for spruce and pine trees could not be differentiated. For alder and birch, there was differentiation in weighted average reflectance values, but these introduced contradictions on a single stand level. Alders in near infrared channels of Red Edge, Near-IR1, Near-IR2 had higher reflectance of 1-2  $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 * \text{nm} * \text{sr})$  than average birch stands, but in some cases there were birch stands that had higher reflectance than alder.

Discrimination between the tree species with very high resolution satellite images could have better results with the use of object-based classification algorithms. Although not researched during this project, the panchromatical channel resolution of WorldView-2 is very high (0,5m) and could be capable of detecting objects, such as the tree crown size and shape of a dominant tree species, but also other tree stand attributes. The subject for further studies could be finding out classification possibilities for different forest types from satellite images using object-based classification algorithms.

## **Tänuavaldused**

Uurimistöö autor on tänulik paljudele inimestele, kelle abita poleks käesolev töö lõpusirgele jõudnud.

Eelkõige tänan oma juhendajat Kaupo Voormansikut mitmekülgse abi ja nõuannete, kannatliku suhtumise ja pühendatud aja eest. Abi eest tulemuste interpreteerimisel ja kirjandusallikatega varustamisel tänan Tiit Nilsonit. Ingliskeelse kokkuvõtte tõlkimisel abiks olemise eest tänan Aire Oleskit.

## Kasutatud kirjandus

Elachi, Ch., van Zyl, J., 2006. Introduction To The Physics and Techniques of Remote Sensing. J. Wiley and Sons. 552 p.

Liu, J.G., Mason, P.J., 2009. Essential Image Processing and GIS for Remote Sensing. J. Wiley and Sons. 443 pp.

Nilson, T., 1994. Metsade kaugseire alused. Eesti Metsaamet. 160 lk.

Internetiallikad:

CCRS - Canada Centre for Remote Sensing, 2013. Fundamentals of Remote Sensing. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: [http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca.earth-sciences/files/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals\\_e.pdf](http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca.earth-sciences/files/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf) [02.03.2013]

DigitalGlobe, 2013. WorldView-2. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <http://www.digitalglobe.com/about-us/content-collection#satellites&worldview-2> [1.02.2013]

European Space Agency, 2013. Eo Portal Directory. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/v-w-x-y-z/worldview-2#foot22%29> [27.03.2013]

European Space Imaging, 2013a. 8 Spectral Bands of WorldView-2. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: [http://www.euspaceimaging.com/static/images/files/pdf/WorldView-2\\_8-Band\\_Applications\\_Whitepaper.pdf](http://www.euspaceimaging.com/static/images/files/pdf/WorldView-2_8-Band_Applications_Whitepaper.pdf) [13.01.2013]

European Space Imaging, 2013b. Vegetative Analysis. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: [http://www.euspaceimaging.com/static/images/files/pdf/VegAnalysis-WVGA\\_web.pdf](http://www.euspaceimaging.com/static/images/files/pdf/VegAnalysis-WVGA_web.pdf) [1.02.2013]

Metsaregister, 2013. Metsaregistri avalik veebirakendus. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <http://register.metsad.ee/avalik/> [20.05.2013]

Metsaressursi arvestuse riikliku registri põhimäärus, 2007. Riigi Teataja [RT I 2007, 50, 348](#) [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/13291274> [6.mai 2013]

Metsaseadus, 2006. Riigi Teataja [RT I 2006, 30, 232](#) [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/120032013022> [6.mai 2013]

Satellite Imaging Corporation, 2013. WorldView-2 Satellite Sensor Information and Specifications. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-2.html> [21.03.2013]

Voormansik, K. 2009. Orbitaalmehaanika I. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <http://dspace.utlib.ee/dspace/bitstream/handle/10062/14246/Kosmosetehnoloogia.pdf?sequence=1> [21.03.2013]

# LISAD

Lisa 1. 22. mai 2011 metsade heleduskordajad kanalites 1-8

eraldis	1. kanali keskmine heledus- kordaja	2. kanali keskmine heledus- kordaja	3. kanali keskmine heledus- kordaja	4. kanali keskmine heledus- kordaja	5. kanali keskmine heledus- kordaja	6. kanali keskmine heledus- kordaja	7. kanali keskmine heledus- kordaja	8. kanali keskmine heledus- kordaja
lepik_32	6,2413	5,5813	4,6478	3,1169	2,1717	6,9518	8,9071	6,1439
lepik_33	6,2110	5,5539	4,5552	3,0426	2,1357	6,7162	8,6214	5,9509
lepik_34	6,2064	5,5364	4,5162	3,0058	2,1181	6,8760	9,2259	6,3374
lepik_35	6,2017	5,5220	4,5675	3,0405	2,0796	7,0929	9,5930	6,5992
lepik_36	6,2119	5,5258	4,5519	3,0396	2,0903	6,8143	9,0114	6,2077
lepik_37	6,2040	5,5361	4,5287	3,0457	2,1109	6,5316	8,6160	5,9321
lepik_38	6,1983	5,5265	4,5493	3,0564	2,1126	6,8937	9,1237	6,2662
lepik_39	6,2610	5,6123	4,6496	3,1122	2,1736	7,0896	9,5332	6,5744
lepik_40	6,2005	5,5319	4,6317	3,0695	2,1262	7,3733	9,8438	6,7556
kask_10	6,1379	5,4240	4,1710	2,8340	2,0240	5,8461	8,0229	5,5245
kask_13	6,1280	5,4355	4,2794	2,9719	2,1273	5,4483	6,6929	4,6874
kask_14	6,1067	5,3948	4,1428	2,8852	2,0973	5,1052	6,4135	4,4972
kask_17	6,0724	5,3221	4,1421	2,7583	1,9006	6,1285	8,3947	5,7775
kask_18	6,0628	5,3229	4,2490	2,8468	1,9444	6,2765	8,3215	5,7672
kask_20	6,0841	5,3598	4,3241	2,8968	1,9914	6,3970	8,1849	5,6910
kask_21	6,0787	5,3376	4,3222	2,8501	1,9351	6,9700	9,4981	6,5580
kask_5	6,1873	5,4967	4,2337	2,8935	2,0657	5,7597	7,5830	5,2044
kask_6	6,1381	5,4302	4,1557	2,8378	1,9971	5,5859	7,4304	5,1441
kask_7	6,2104	5,5944	4,4943	3,2063	2,3817	5,5399	6,3479	4,5443
kask_8	6,1193	5,4422	4,3713	2,9861	2,1213	5,8274	7,0377	4,8940
kask_9	6,1084	5,3938	4,2816	2,8449	1,9687	6,3298	8,5063	5,8454
kuusik_19	6,1139	5,3822	4,1102	2,8111	2,0072	4,8964	6,2628	4,3070
kuusik_23	6,0506	5,3036	4,0469	2,7645	1,9689	4,8498	6,2951	4,3212
kuusik_24	6,0468	5,3102	4,0102	2,7503	1,9766	4,6140	5,9215	4,0724
kuusik_25	6,0570	5,3234	4,0478	2,7677	1,9864	4,8002	6,1284	4,2274
kuusik_26	6,0722	5,3563	4,0353	2,7717	2,0028	4,7392	6,0675	4,1758
kuusik_27	6,0734	5,3586	4,0407	2,8308	2,0866	4,6334	5,8210	4,0395
kuusik_30	6,0860	5,3629	4,0272	2,7929	2,0488	4,6384	5,9802	4,1194
kuusik_31	6,0830	5,3433	3,9635	2,7317	1,9915	4,5504	5,8261	4,0442
mannik_1	6,1283	5,4440	4,0738	2,9094	2,1916	4,3853	5,1686	3,6257
mannik_2	6,1488	5,4791	4,0736	2,9144	2,2188	4,3649	5,1599	3,6087
mannik_3	6,1640	5,5193	4,1665	2,9855	2,2863	4,6930	5,7007	4,0151
mannik_11	6,2353	5,5901	4,2363	3,0466	2,3337	4,8164	5,8484	4,0859
mannik_12	6,2304	5,5935	4,2163	3,0514	2,3563	4,6987	5,6723	3,9735
mannik_15	6,1719	5,5472	4,1931	3,0462	2,3694	4,6831	5,6048	3,9340
mannik_16	6,2294	5,5944	4,2661	3,0790	2,3509	4,8294	5,7424	4,0293
mannik_22	6,1652	5,5052	4,1534	2,9494	2,2340	4,8264	5,9209	4,1442
mannik_28	6,1630	5,5236	4,2503	3,0651	2,3280	4,8826	5,7446	4,0391
mannik_29	6,1593	5,5028	4,1349	2,9513	2,2499	4,6877	5,6744	3,9820

Lisa 2. 29. juuni 2011 metsade heleduskordajad kanalites 1-8

eraldis	1. kanali keskmine heledus-kordaja	2. kanali keskmine heledus-kordaja	3. kanali keskmine heledus-kordaja	4. kanali keskmine heledus-kordaja	5. kanali keskmine heledus-kordaja	6. kanali keskmine heledus-kordaja	7. kanali keskmine heledus-kordaja	8. kanali keskmine heledus-kordaja
lepik_32	5,1853	4,4573	3,3454	2,1545	1,4808	5,5376	9,0843	6,0767
lepik_33	5,1645	4,4273	3,2835	2,1071	1,4556	5,3243	8,6520	5,8023
lepik_34	5,1611	4,4216	3,3178	2,1222	1,4638	5,6666	9,5694	6,4028
lepik_35	5,0738	4,3203	3,1815	2,0595	1,3918	5,3407	9,4430	6,3279
lepik_36	5,0858	4,3211	3,1624	2,0503	1,3946	4,9430	8,3778	5,6717
lepik_37	5,0998	4,3457	3,2340	2,1017	1,4214	5,1603	8,5564	5,7801
lepik_38	5,0591	4,3096	3,1726	2,0630	1,3898	5,2607	9,1413	6,1011
lepik_39	5,0676	4,3146	3,1632	2,0437	1,3957	5,1354	8,8332	5,9547
lepik_40	5,1921	4,4538	3,3304	2,1364	1,4665	5,6034	9,5533	6,3816
kask_10	5,2865	4,2556	3,0262	2,0069	1,3688	4,6985	8,1441	5,4908
kask_13	5,1476	4,3907	3,1743	2,0809	1,4369	4,3870	6,5271	4,3915
kask_14	5,1197	4,3453	3,0628	1,9999	1,3814	3,9399	5,9583	4,0063
kask_17	5,1553	4,3791	3,1262	2,0221	1,3737	4,6358	7,8041	5,2092
kask_18	5,1627	4,3925	3,1362	2,0273	1,3789	4,8757	8,3081	5,5250
kask_20	5,1411	4,3762	3,1729	2,0571	1,4005	5,2686	8,7562	5,8490
kask_21	5,1390	4,3689	3,1461	2,0425	1,3870	5,3842	9,5571	6,3736
kask_5	5,0230	4,2475	3,0230	1,9750	1,3541	4,2162	6,5917	4,3951
kask_6	5,0108	4,2333	3,0251	1,9913	1,3480	4,3167	6,8363	4,6127
kask_7	5,0606	4,3277	3,3334	2,1456	1,4382	5,8347	9,0280	6,0245
kask_8	5,0308	4,3008	3,2881	2,1197	1,4345	5,4562	8,4424	5,6392
kask_9	5,0323	4,2652	3,0354	1,9585	1,3484	4,8164	8,3383	5,5702
kuusik_19	5,0666	4,243	2,8539	1,8187	1,2289	3,1317	4,8521	3,2330
kuusik_23	5,2183	4,4162	3,0565	1,9573	1,3363	3,4160	5,2324	3,3757
kuusik_24	5,2561	4,4768	3,1033	2,0147	1,4064	3,3108	4,9254	3,2341
kuusik_25	5,1555	4,3402	2,9876	1,9136	1,3051	3,3968	5,2302	3,4521
kuusik_26	5,1053	4,3203	2,9449	1,8897	1,2963	3,3119	5,0589	3,3364
kuusik_27	5,1452	4,3601	3,0075	1,9500	1,3439	3,3114	4,8816	3,2373
kuusik_30	5,1177	4,3158	2,9567	1,9044	1,3138	3,2126	4,8510	3,2218
kuusik_31	5,0712	4,2695	2,9132	1,8692	1,2843	3,2386	4,8969	3,2402
mannik_1	5,2654	4,5116	3,1537	2,1025	1,5015	3,3027	4,4512	2,9961
mannik_2	5,2746	4,5352	3,1863	2,1351	1,5384	3,4567	4,6797	3,1541
mannik_3	5,2373	4,5276	3,2591	2,2039	1,6016	3,7842	5,1927	3,5128
mannik_11	5,1559	4,4536	3,1845	2,1453	1,5437	3,7865	5,2330	3,5348
mannik_12	5,1678	4,4592	3,1814	2,1603	1,5715	3,6412	4,9861	3,3750
mannik_15	5,2441	4,5634	3,2537	2,2318	1,6353	3,7238	4,9939	3,3827
mannik_16	5,2221	4,5318	3,2646	2,2124	1,5909	3,8324	5,1123	3,4696
mannik_22	5,1876	4,4338	3,1293	2,0752	1,4785	3,7093	5,2987	3,5675
mannik_28	5,3296	4,6429	3,4099	2,3229	1,6773	4,0653	5,4286	3,6740
mannik_29	5,2639	4,5280	3,2322	2,1707	1,5588	3,7252	5,0835	3,4309



Lisa 3. 22. mai 2011 ja 29. juuni 2011 puuliikide kaalutud keskmised heleduskordajad

aeg	mets	1. kanali kaalutud keskmise heledus- kordaja	2. kanali kaalutud keskmise heledus- kordaja	3. kanali kaalutud keskmise heledus- kordaja	4. kanali kaalutud keskmise heledus- kordaja	5. kanali kaalutud keskmise heledus- kordaja	6. kanali kaalutud keskmise heledus- kordaja	7. kanali kaalutud keskmise heledus- kordaja	8. kanali kaalutud keskmise heledus- kordaja
mai	lepad_05	6,22	5,55	4,59	3,06	2,13	6,92	9,05	6,24
mai	kased_05	6,12	5,41	4,28	2,92	2,07	5,86	7,46	5,20
mai	kuused_05	6,07	5,34	4,02	2,77	2,00	4,68	5,99	4,13
mai	männid_05	6,18	5,53	4,18	3,00	2,30	4,68	5,63	3,95
juuni	lepad_06	5,15	4,40	3,27	2,11	1,44	5,36	8,96	6,01
juuni	kased_06	5,12	4,34	3,15	2,05	1,40	4,85	7,80	5,22
juuni	kuused_06	5,16	4,37	3,00	1,93	1,33	3,31	4,99	3,29
juuni	männid_06	5,23	4,52	3,22	2,18	1,57	3,70	5,04	3,41

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina Iris Laatsarus (sünnikuupäev: 27.07.1977)

annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose  
„Metsatüüpide eristamise võimalustest multispektraalsete WorldView-2 satelliidipiltide abil“,  
mille juhendaja on Kaupo Voormansik,

reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas  
digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;  
üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas  
digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega  
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 21.05.2013